

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 101 37 552.2

Anmeldetag: 01. August 2001

Anmelder/Inhaber: Forschungszentrum Karlsruhe GmbH,
Karlsruhe, Baden/DE

Bezeichnung: Einrichtung zur Rekondensation von tiefsiedenden
Gasen mit einem Kryogenerator des aus einem
Flüssiggas-Behälter verdampfenden Gases

IPC: F 25 B 9/14

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. Juli 2002
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Agurks', written over the printed name 'Der Präsident Im Auftrag'.

Agurks

Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH
ANR 5661498

Karlsruhe, den 27. Juli 2001
PLA 0144 Mh/la

**Einrichtung zur Rekondensation von tiefsiedenden Gasen mit einem Kryogenerator des
aus einem Flüssiggas-Behälter verdampfenden Gases**

Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH
ANR 5661498

Karlsruhe, den 27. Juli 2001
PLA 0144 Mh/la

Patentansprüche:

1. Einrichtung zur Rekondensation von tiefsiedenden Gasen mit einem Kryogenerator des aus einem Flüssiggas-Behälter verdampfenden Gases, bestehend aus:

- einer entweder
einstufigen Kühleinrichtung, dem Kaltkopf, in einem Rohr (8), dem Halsrohr (8), die von der Öffnung/dem Anschlussflansch (9) des Gefäßes (3) der Einrichtung her zum Flüssiggas-Behälter (2) der Einrichtung ragt, mit einer Kaltfläche (28), die mit ihrer exponierten Fläche in den kalten Dampfraum des Flüssiggas-Behälters (2) ragt, wobei

die Kühleinrichtung, der Kaltkopf, aus einem Regenerator (21) und einem Pulsrohr (23) mit dazwischen liegendem Wärmeübertrager (25) besteht, und der Wärmeübertrager (25) in der Kaltfläche (26) gefasst ist,

die Komponenten: Regenerator (21), Pulsrohr (23) der Kühleinrichtung mit je einem thermisch isolierenden Mantel/Hitzeschild (20, 30, 31, 32) ummantelt sind,

- oder einer
mindestens zweistufigen Kühleinrichtung in dem Halsrohr (8) von der Öffnung/Anschlussflansch (9) eines Gefäßes (3) zum Flüssiggas-Behälter (2) mit je einer Kaltfläche (26) bzw. (28), die ein- und ausgebaut werden können, ohne das zu versorgende Flüssiggas-Bad aufzuwärmen,

wobei

jede Stufe der Kühleinrichtung aus einem Regenerator (21) bzw. (22) und einem Pulsrohr (23) bzw. (24) mit dazwischen liegendem Wärmeübertrager (25) bzw. (27) besteht, und jeder Wärmeübertrager in je einer Kaltfläche (26) bzw. (28) gefasst ist,

die Kaltfläche (28) der zweiten/letzten Stufe mit ihrer exponierten Fläche in den kalten Dampfraum des Flüssigheliumbehälters (2) ragt,

die Komponenten: Regenerator (21) bzw. (22), Pulsrohr (23) bzw. (24) der jeweiligen Stufe der Kälteeinrichtung mit je einem thermisch isolierenden Mantel/Hitzeschild (20, 30, 31, 32) ummantelt sind,

sämtliche Kaltflächen (26) außer der letzten Kaltfläche (28) stehen in Richtung der folgenden Stufe koaxial je einem Wärmeübertragungsring (10) gegenüber, die an der entsprechenden Stelle im Halsrohr (8) gut wärmeleitend angebracht sind, und die jeweilige Kaltfläche (28) greift, axial beweglich, unter äquidistanter Spaltbildung um den Umfang in den zugeordneten Wärmeübertragungsring (10), ohne diesen zu berühren,

so dass ein gasdurchgängiger Kanal vom Dampfraum über dem Flüssiggas-Bad bis zum Anfang der ersten Kühlstufe besteht und der mindestens zweistufige, in das Halsrohr (8) ragende Kaltkopf, der an einem Flanschdeckel (33) verankert ist, der wiederum mit einem Anschlussflansch (9) der Gefäßwand (3) verschraubt ist, axiale thermische Ausdehnungen, ohne anzustoßen, ausführen kann.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige thermisch isolierende Mantel/Hitzeschild (20, 30, 31, 32) aus einer die Wärme schlecht leitenden Schicht besteht.
3. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige thermisch isolierende Mantel/Hitzeschild (20, 30, 31, 32) aus einer von Stirnseite zu Stirnseite durchgehenden Vakuumkammer besteht, deren Außenwand mit einem dünnwandigen zylindrischen Rohr gebildet wird, das durch Formung oder Stützung so steif bleibt, dass der Außendruck dieselbe nicht oder zumindest nicht großflächig an die Innenwand drücken kann.
4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohre (20, 30, 31, 32) über eine schlecht wärmeleitende Stützeinrichtung oder Stützeinrichtungen, die sie jeweils ummanteln, gehalten werden.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
dass die Stützeinrichtung eine helixförmig um die Komponente von oben bis unten oder
umgekehrt gewundene Schnur ist.
6. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
dass die Stützeinrichtungen helixförmig um die Komponente, nicht durchgehend von oben
bis unten oder umgekehrt und sich auch gegenseitig nicht berührend, gewundene Schnüre
sind.
7. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
dass der jeweilige thermisch isolierende Mantel/Hitzeschild (20, 30, 31, 32) ein dünnwan-
diges Wellrohr ist Rohr ist, dessen kleine lichte Weite geringfügig größer ist als die zu
umgebende Komponente, so dass es zu punktartigen, lokal allenfalls kurzen linienförm-
igen Berührungen kommt.
8. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
dass der jeweilige thermisch isolierende Mantel/Hitzeschild (20, 30, 31, 32) ein dünnwan-
diges, mit Sicken oder linienförmigen Verstärkungen versehenes Rohr ist, das punktartig
oder allenfalls lokal kurz linienförmig anliegen kann.
9. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
dass der jeweilige thermisch isolierende Mantel/Hitzeschild (20, 30, 31, 32) ein dünnwan-
diges Wellrohr ist Rohr ist, dessen kleine lichte Weite geringfügig größer ist als die um-
gebende Komponente, und dieses Rohr über schlecht wärmeleitende, helikal oder axial
auf der Komponente angebrachte Stabelemente zu dieser mit Durchgang über die Länge
auf Distanzgehalten wird.
10. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass in jeder Kaltfläche (26) mindestens eine Bohrung (37a) besteht, im Falle von min-
destens zwei: um den Umfang gleichverteilte Bohrungen (37a) bestehen, die eine Gas-
strömung erleichtern.

Beschreibung:

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Rekondensation von tiefsiedenden Gasen des aus einem Flüssiggas-Behälter verdampfenden Gases mit einem Kryogenerator. Mit ihr wird beispielsweise einen supraleitender Magnet, der durch Eintauchen in flüssiges Helium als Flüssiggas gekühlt wird, kontinuierlich mit einer an das System angekoppelten Kleinkälteanlage, einem sogenannten Kryokühler, betrieben. Entsprechend bei einem supraleitenden Magneten aus hochtemperatursupraleitendem Material, der entsprechend durch Eintauchen in flüssigen Stickstoff gekühlt wird.

Der derzeitige Stand der Technik wird kurz (siehe auch Figur 4) erläutert:

Der gesamte Kryobehälter 1 besteht aus einem Innenbehälter 2, der bis zu einem Niveau 7 mit dem tiefsiedenden Flüssiggas, z. B. flüssiges Helium, gefüllt ist. Die supraleitende Einrichtung, typischerweise eine Magnetspule 5 mit den Stromzuführungen 6a und 6b, ist in das Flüssiggas eingetaucht. Das aufgrund der dem Behälter 2 zugeführten Wärme verdampfende Helium wird über ein verengtes Halsrohr 8 zur Umgebung beziehungsweise zu einem Sammelbehälter abgeführt. Zur Verringerung des Wärmeeinfalls ist der Heliumbehälter 2 von einer Hülle 3 umgeben. Zur weiteren Verringerung des Wärmeeinfalls ist in dem zwischen beiden Behältern befindlichen Vakuumraum ein Strahlungsschirm 4 angebracht, der über einen an dem Halsrohr 8 angebrachten Kontaktierungsring 10 von dem Helium-Abgas gekühlt wird. Das Halsrohr 8 sollte einerseits zur Verringerung des Wärmeeinfalls möglichst eng sein, andererseits muss es aber einen hinreichenden Querschnitt haben, um bei nicht dem auszuschließendem Fall, dass der Magnet plötzlich normalleitend wird, das zusätzlich verdampfende Gas ohne unzulässig hohen Druckanstieg in dem Behälter 2 entweichen zu lassen.

Wenn der Heliumstand unter einer bestimmten Höhe abgefallen ist, muss er aus einem Transportbehälter nachgefüllt werden. Dies ist mit beträchtlichem Aufwand verbunden.

Mittlerweile gibt es kleine Kälteanlagen, mit denen das aus dem Heliumbad abdampfende Helium direkt in dem kalten Behälter wieder verflüssigt werden kann, und die in zwei- oder mehrstufiger Ausführung zusätzliche Kälteleistung zur Kühlung von Strahlungsschirmen bereitstellen. Die wichtigsten Ausführungsformen solcher Kryogeneratoren sind zur Zeit der Pulsrohrkühler und der Gifford-McMahon-Kühler.

Eine solche Kryoanlage soll, soweit das bei solchen Tieftemperaturkühlanlagen geht, einfach in ihrer Handhabung sein, unkompliziert betrieben und unkompliziert gewartet werden können. Das bei solchen Anlagen, deren Kühlaggregate Pulsrohrkühler insbesondere Gifford-McMahon-Kühler sind, bei denen der Dampf tiefsiedender Gase rückverflüssigt wird. Als tiefsiedende Gase werden hier betrachtet: Helium, He, Wasserstoff, H₂, Neon, Ne; Stickstoff, N₂, die auch in der Supraleitertechnik als Kühlmittel verwendet werden.

Eine solche Einrichtung ist gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 aufgebaut und besteht in der einfachsten Ausführung aus der Kühleinrichtung, dem sogenannten Kaltkopf. Dieser Kaltkopf ragt, außen an der Einrichtung angeflanscht, in dem Rohr 8, dem Halsrohr 8, bis zum Gefäße 3 für das Flüssiggas. Dort ist die Kaltfläche 26 über dem Flüssigkeitsspiegel 7 des Flüssiggases exponiert. Diese gesamte einstufige Kühleinrichtung ist konstruktiv so gestaltet und eingebaut, dass sie, ohne das zu versorgende Flüssiggas-Bad aufzuwärmen, ein- und ausgebaut werden kann. Der Kaltkopf besteht aus dem Regenerator 21 und dem Pulsrohr 23 mit dazwischen liegendem Wärmeübertrager 25. Der Wärmeübertrager 25 ist in die Kaltfläche 26 eingebettet, die zu dem Flüssiggas-Bad hin exponiert ist.

Die Komponenten: Regenerator (21), Pulsrohr (23) sind mit je einem thermisch isolierenden Mantel/Hitzeschild (20, 30, 31, 32) ummantelt sind, um thermische Kopplungen nach außen zu unterbinden oder für den Prozess in zulässigen Schranken zu halten.

Die erweiterte, in ihrem Aufbau vielfach ausgebildete Kühleinrichtung, der Kaltkopf, ist eine mindestens zweistufige Kühleinrichtung, die ebenso in das Halsrohr 8 ragt und mit ihrer letzten Kaltfläche 28 über dem Flüssiggas-Bad endet. Auch dieser mehrstufige Kaltkopf kann ein- und ausgebaut werden, ohne das zu versorgende Flüssiggas-Bad aufzuwärmen. Jede Stufe des Kaltkopfes besteht aus einem Regenerator 21 bzw. 22 und einem Pulsrohr 23 bzw. 24 mit dazwischen liegendem Wärmeübertrager 25 bzw. 27, und jeder Wärmeübertrager ist in je eine Kaltfläche 26 bzw. 28 gefasst. Der Kaltfläche 28 der von außen her betrachteten letzten Stufe ragt mit ihrer exponierten Fläche alleine in den kalten Dampfraum des Flüssiggas-Behälters 2. Die Komponenten: Regenerator 21 bzw. 22, Pulsrohr 23 bzw. 24 der jeweiligen Stufe sind wie in der einstufigen Ausführung mit je einem thermisch isolierenden Mantel/Hitzeschild 20, 30, 31, 32 ummantelt. Sämtliche Kaltflächen 26 außer der letzten stehen in Richtung der folgenden Stufe koaxial je einem Wärmeübertragungsring 10 gegenüber, der an der entsprechenden Stelle im Halsrohr 8 gut wärmeleitend angebracht ist. Die jeweilige Kalt-

fläche 26 greift, axial beweglich, unter schmaler Spaltbildung um den Umfang, idealerweise äquidistanter, in den zugeordneten Wärmeübertragungsring 10, ohne diesen an irgend einer Stelle zu berühren. Dadurch besteht stets ein gasdurchgängiger Kanal vom Dampfraum über dem Flüssiggas-Bad bis zum Flansch des Kaltkopfes. Die mehrstufige, in das Halsrohr 8 ragende Kühleinrichtung, die an einem Flanschdeckel 33 anmontiert, der mit einem Anschlussflansch 9 der Gefäßwand 3 verschraubt ist, kann sich axial aufgrund zulässiger thermischer Einwirkung dehnen ohne anzustoßen.

In den Unteransprüchen sind Maßnahmen spezifiziert, die den Betrieb der Einrichtung von Fall zu Fall erleichtern.

Anspruch 2 beschreibt, dass der/das jeweilige thermisch isolierende Mantel/Hitzeschild 20, 30, 31, 32 lediglich aus einer auf der zugeordneten Komponente die Wärme schlecht leitenden Schicht besteht, die für den Anwendungsfall eine axiale und radiale Wärmeleitung nicht, allenfalls tolerierbar zulässt.

Anspruch 3 beschreibt das Prinzip der thermischen Isolierung mit Hilfe einer von Stirn zu Stirn der Ummantelung durchgehenden Vakuumkammer. Hierzu ist die jeweilige Komponente von einem schlecht die Wärme leitenden, dünnwandigen zylindrischen Rohr ummantelt, das durch Formung oder Stützmaßnahmen auf seiner Fläche so steif bleibt, dass der Außendruck - üblicherweise Umgebungsdruck, in Fehlerfällen wie sprunghafter Übergang der eingetauchten Spule vom supraleitenden in den normalleitenden Zustand, Überdruck - dieselbe nicht oder zumindest nicht großflächig an die Wand der ummantelten drücken kann. Das ist oder sind nach Anspruch 4 ebenfalls eine schlecht wärmeleitende Stützeinrichtung oder Stützeinrichtungen, die die Außenwand der gebildeten Vakuumkammer steif halten. Oder es ist nach Anspruch 5 eine helixförmig um die Komponente von oben bis unten oder umgekehrt gewundene Schnur. An Stelle einer solchen durchgehenden Schnur können das nach Anspruch 6 auch um den Umfang liegende, sich nicht berührende Schnurstücke sein. Andere, aus der Kälteisolationstechnik bekannte technische Maßnahmen sind, soweit anwendbar ebenfalls einsetzbar.

Eine andere wirkungsvolle Art der Vakuumkammerbildung ist in Anspruch 7 gekennzeichnet: Die Außenwand der Vakuumkammer ist da ein dünnwandiges Wellrohr, dessen kleine lichte Weite geringfügig größer ist als die zu umgebende Komponente, so dass es zu punktaktigen,

lokal allenfalls kurzen linienförmigen Berührungen mit der Außenwand der Komponente kommt oder kommen kann. Diese Art Kammerbildung kann auch durch ein dünnwandiges, mit Sicken oder linienförmigen Verstärkungen versehenes Rohr eingerichtet werden, das punktartig oder allenfalls über eine kurze Strecke linienförmig anliegen kann.

Wie in Anspruch 7 zunächst gekennzeichnet, besteht in Anspruch 8 die äußere Wand der Vakuumkammer der ebenfalls aus dem dünnwandigen Wellrohr, dessen kleine lichte Weite ebenfalls geringfügig größer ist als die umgebende Komponente. Dieses Wellrohr wird jedoch über schlecht wärmeleitende, helikal oder axial auf der äußeren Mantelwand der Komponente angebrachte Stabelemente zu dieser auf Distanz gehalten (Anspruch 9).

Für eine hindernisarme Gasströmung insbesondere im Fehlerfall besteht in jeder Kaltfläche 26 mindestens eine Bohrung 37a, im Falle von mindestens zwei bestehen solche um den Umfang gleichverteilte Bohrungen 37a (Anspruch 10).

Anhand der Zeichnung und im Zusammenhang mit der Beschreibung werden weiter unten die Vorteile der Erfindung als Schlussfolgerung aus den getroffenen Maßnahmen noch hervorgehoben. Die Zeichnung besteht aus den Figuren 1 bis 4, sie zeigen im einzelnen:

Figur 1 den Aufbau mit zwei Pulsrohr-Kühlern,

Figur 2a die helikale Schnurwindung zur Distanzaufrechterhaltung,

Figur 2b den Welschlauch als Vakuumaußenwand,

Figur 3 Einrichtung mit zwei McMahon-Kühlern,

Figur 4 die prinzipielle Bauweise des Kryostaten.

Abb. 2 zeigt den schematischen Aufbau des Kaltkopfs des zweistufigen Pulsrohrkühlers und dessen Einbau in den Kryostaten. Der Pulsrohrkühler und dessen Komponenten sind nur mit den hier maßgeblichen Komponenten sind dargestellt.

Der zweistufige Kühler besteht aus dem Regenerator 21 mit der Verbindungsleitung 35 zu einem nicht dargestellten Kompressor, der den pulsierenden Gasstrom liefert. Der Druck variiert typischerweise zwischen etwa 10 bar und 25 bar. Am anderen Ende des Regenerators 21 wird der Gasstrom aufgeteilt, so dass ein erster Teilstrom durch den ersten Wärmeübertrager 25 dem erstem Pulsrohr 23 zugeführt wird. An dessen gegenüberliegendem Ende wird ein zweiter Gastrom über den Anschluss 34 zugeführt. Bei geeignet eingestellten Größen und zeitlichem Versatz dieser Gasströme kommt es im Bereich des Wärmeübertragers 25 zu einer

Kühlwirkung. Mit dieser Kälteleistung wird der Strahlungsschirm 4 auf ein erstes Temperaturniveau, das bereits beträchtlich unter der Umgebungstemperatur liegt, abgekühlt. Zur thermischen Ankopplung des Strahlungsschirms 4 an die Stelle der Kälteerzeugung ist der Wärmeübertrager 26 in eine gut wärmeleitende Struktur, der sogenannten ersten Kaltfläche 26, eingebaut. An der dem am Halsrohr 8 angebrachten Wärmeübertragungsring 10 zugewandten Seite ist die erste Kaltfläche 26 mit einer zirkumferalen verzahnten Struktur, und der Wärmeübertragungsring 10 ist mit einer komplementären Struktur versehen. Diese Zahnstruktur ist konstruktiv so gestaltet, dass sich an den in der Figur vertikal verlaufenden Grenzflächen zwischen der Kaltfläche 26 und dem Wärmeübertragungsring 10 ein sehr enger Spalt, der mit dem in dem Behälter 2 verdampfenden Gas gefüllt ist, ausbildet. Andererseits ist die Verzahnung aber so zu gestalten, dass in vertikaler Richtung eine Verschiebung möglich ist. Durch diese Maßnahme wird einerseits eine gute thermische Ankopplung bewirkt, andererseits kann eine Verschiebung, wie sie zum Beispiel durch Unterschiede in den thermischen Kontraktionen auftritt, erfolgen, und es ist möglich, bei Bedarf den Kaltkopf ohne ein Aufwärmen des Kryostaten aus- und einzubauen.

Der zweite Teilstrom des aus dem ersten Regenerator 21 mit einer Zwischentemperatur aus tretenden Gases wird zu dem zweiten Regenerator 22 geführt und von dort über den zweiten Wärmeübertrager 27 in des zweites Pulsrohr 24 geleitet, dem am oberen Ende über den Anschluss 36 ebenfalls ein pulsierender Gasstrom zugeführt wird. Dadurch kommt es im Bereich des zweiten Wärmeübertragers 27 zu einer weiteren Temperaturabsenkung. Es ist Stand der Technik, derartige Kühler so zu gestalten, dass an der ersten Stufe eine erste Kälteleistung im Temperaturbereich zwischen 30 K und 100 K und an der zweiten Stufe eine zweite, zwar recht geringe Kälteleistung im Bereich von Temperaturen, die für die Kondensation von Helium, nämlich kleiner als 5 K, verfügbar ist. Wenn der zweite Wärmeübertrager 27 in die zweite Kaltfläche 28, eine ebenfalls gut wärmeleitende Struktur mit großer Oberfläche auf der Seite des verdampfenden Heliums, eingebettet ist, kann das im Behälter 2 abdampfende Helium dort kondensieren und zu dem darunter liegenden Bad zurückfließen.

Aufgrund der Betriebsweise des Kühlers mit einem pulsierenden Gasstrom kommt es im Laufe eines einzelnen Arbeitszyklus auch zu geringen Temperaturschwankungen an den Oberflächen der diesem Innendruck ausgesetzten Rohre. In den Pulsrohren 23 und 24 ist dieser Effekt besonders ausgeprägt. Mit der Temperaturänderung an der dem verdampfenden Helium zugewandten Seite ist eine lokal begrenzte Ausdehnung dieses Gases verbunden.

Diese bewirkt aber eine Bewegung des Gases in dem ganzen durch die Rohre 8a und 8b gebildeten Gefäßhals. Hierdurch kommt es letztendlich zu einem unerwünschten Wärmestrom vom warmen oberen Halteflansch 33 zum Kaltgasraum 7. Hinzu kommt noch ein weiterer Effekt, der mit den unterschiedlichen Temperaturverteilungen, die sich in den Regeneratoren und den Pulsrohren einstellen, verbunden ist. Hierdurch kann es vorkommen, dass auf gleicher Höhe unterschiedliche Temperaturen an diesen Komponenten vorliegen. Zwangsläufig wird dadurch eine Naturkonvektion, die ebenfalls mit einem schädlichen Wärmetransport verbunden ist, angeregt.

Beide Effekte werden vermieden, wenn beide Regeneratoren 21, 22 und beide Pulsrohre 23, 24 mit thermisch isolierenden Wänden 29 bis 32 ausgebildet werden. Dies kann entweder durch Ummantelung mit einer aufliegenden, schlecht wärmeleitenden Kunststoffschicht oder durch Anbringen eines evakuierten Zwischenraums der Vakuumkammer erfolgen. Die Ziffer 30 bezeichnet das den ersten Regenerator umgebende Hüllrohr, 29 das Hüllrohr des ersten Pulsrohrs, 31 das Hüllrohr des zweiten Regenerators und 32 das Hüllrohr des zweiten Pulsrohrs. Nachteilig ist, dass durch die Wand eines solchen Hüllrohrs ein zusätzlicher Wärmestrom zu dem jeweils kalten Ende hin entsteht. Zur Verringerung dieses Effektes ist es notwendig die Hüllrohre möglichst dünnwandig auszubilden. Bei zu kleiner Wandstärke besteht aber die Gefahr, dass die Rohre aufgrund der von außen wirkenden Druckbelastung einbeulen. Dem wird durch die in Abb. 2a und b skizzierten Maßnahmen entgegengewirkt. In Figur 2a ist exemplarisch für die Komponente mit dem größten Durchmesser, nämlich dem ersten Regenerator 21, dargestellt, wie das Hüllrohr 30 durch die auf dem Innenrohr 21a aufgesetzte Stützstruktur stabilisiert wird. Eine zweite Lösung ist in Figur 2b dargestellt. Hierbei ist das Hüllrohr als dünnwandiges Wellrohr ausgebildet. Wenn dessen kleine lichte Weite geringfügig größer ist als der Außendurchmesser des Innenrohrs, kann es nur zu punktaktigen Berührungen mit vernachlässigbaren Wärmebrücken kommen. Diese Hüllrohre können entweder dauerhaft abgedichtet sein, oder mit Verbindungsleitungen zum Anschluß an eine Vakuumpumpe versehen sein.

Bei normalem Betrieb nimmt das Helium-Gas innerhalb des Halsrohrs 8a, 8b eine stationäre Temperaturverteilung ohne interne Konvektion an, und die Abgasleitung 37 ist verschlossen. Nur wenn aufgrund einer Störung der Druck im Gasraum einen vorgegebenen Wert übersteigt, wird die Abgasleitung 37 z.B. über ein Überdruckventil geöffnet. Falls es für die Ausströmung einer großen Gasmenge erforderlich ist, kann der Körper 26 der ersten Kaltfläche

mit Bohrungen, die ein leichteres Ausströmen des Gases von dem unteren Halsteil mit der Umwandung 8b in den Teil mit der Umwandung 8a ermöglicht, versehen werden.

In Figur 3 ist der Gifford-McMahon-Kühler für Helium-Rückverflüssigung in seinen hier wichtigen Komponenten schematisch dargestellt, und zwar die analoge Lösung für den Einsatz eines zweistufigen Gifford-McMahon-Kühlers. Die erste Stufe ist durch kreiszylindrische Struktur 41 ausgebildet. Ihre untere Stirnfläche bildet die erste Kaltfläche 26. Der daran ange-setzt zweite Zylinder 43 mit kleinerem Durchmesser bildet die zweite Stufe. Durch die Druckpulsation im Inneren dieser Zylinder 41, 43 und durch die dort erfolgende Bewegung der Regeneratoren, kommt es auch zu Temperaturschwankungen an den Außenwänden. Zur Vermeidung der dadurch verursachten unerwünschten Wärmeströme, ist es angebracht, die Mantelflächen beider Zylinder thermisch zu isolieren. In der Darstellung ist die Lösung mit einer Wellrohr-Ummantelung 42, 44 dargestellt. Die anderen, oben besprochenen Lösungen können beim Gifford-McMahon-Kühler ebenfalls angewandt werden.

Bezugszeichenliste

- 1 Kryobehälter, Helium-Kryostat
- 2 Innenbehälter
- 3 Gefäßwand
- 4 Strahlungsschirm
- 5 Magnetspule
- 6a Stromzuführung
- 6b Stromzuführung
- 7 Niveau
- 8 Halsrohr
- 9 Anschlußflansch
- 10 Kontaktierungsring, Wärmeübertragungsring

- 20 Pulsrohrkühler
- 21 Regenerator
- 22 Regenerator
- 23 Pulsrohr
- 24 Pulsrohr
- 25 Wärmeübertrager
- 26 Kaltfläche
- 27 Wärmeübertrager
- 28 Kaltfläche
- 29 Hüllrohr
- 30 Hüllrohr
- 31 Hüllrohr
- 32 Hüllrohr
- 33 Flanschdeckel
- 34 Gasleitung
- 35 Gasleitung
- 36 Gasleitung
- 37 Abgasleitung
- 37a Abgasleitung

37b Abgasdurchgang

40 Gifford-McMahon-Kühler

41 Struktur

42 Wellrohr-Ummantelung

43 Zylinder

44 Wellrohr-Ummantelung

Zusammenfassung:

Die Einrichtung zur Rekondensation von tiefsiedenden Gasen mit einem Kryogenerator des aus einem Flüssiggas-Behälter verdampfenden Gases besteht aus einer oder mindestens zwei zusammenhängenden Kühlstufen, dem Kaltkopf. Jede Stufe ist ein Pulsrohrkühler, deren Wärmeübertrager zwischen dem Regenerator und zugehörigem Pulsrohr in eine exponierte Kaltfläche eingebettet ist. Der gesamte Kaltkopf ist nur am Außengefäß der Einrichtung angeflanscht und ragt im Halsrohr der Einrichtung ins Innere hinein. Die letzte Kaltfläche des Kaltkopfes sitzt am Ende des Halsrohr und ist im Dampfraum über dem Flüssiggas-Kältebad exponiert. Die andern Kaltflächen stehen jeweils einem am Halsrohr angebrachten Wärmeübertragungsring gegenüber. Die jeweils einander gegenüberstehenden beiden Stirnflächen greifen, ohne sich je an einer Stelle zu berühren, unter schmaler Spaltbildung ineinander, so dass vom Dampfraum über dem Flüssiggas-Bad bis zum Flansch des Kaltkopfes im Halsrohr stets ein freier Durchgang besteht.

Die beiden Komponenten: Regenerator, Pulsrohr, jeder Pulsrohr-Kühlerstufe sind jeweils mit einem Wärmeschild ummantelt, das einerseits ein aufliegender, schlecht wärmeleitender Belag oder andererseits eine ringförmige Vakuumkammer darum herum sein kann, deren Außenwand die ummantelnde Komponente nur punktförmig oder allenfalls über kurze Strecken linienförmig berührt.

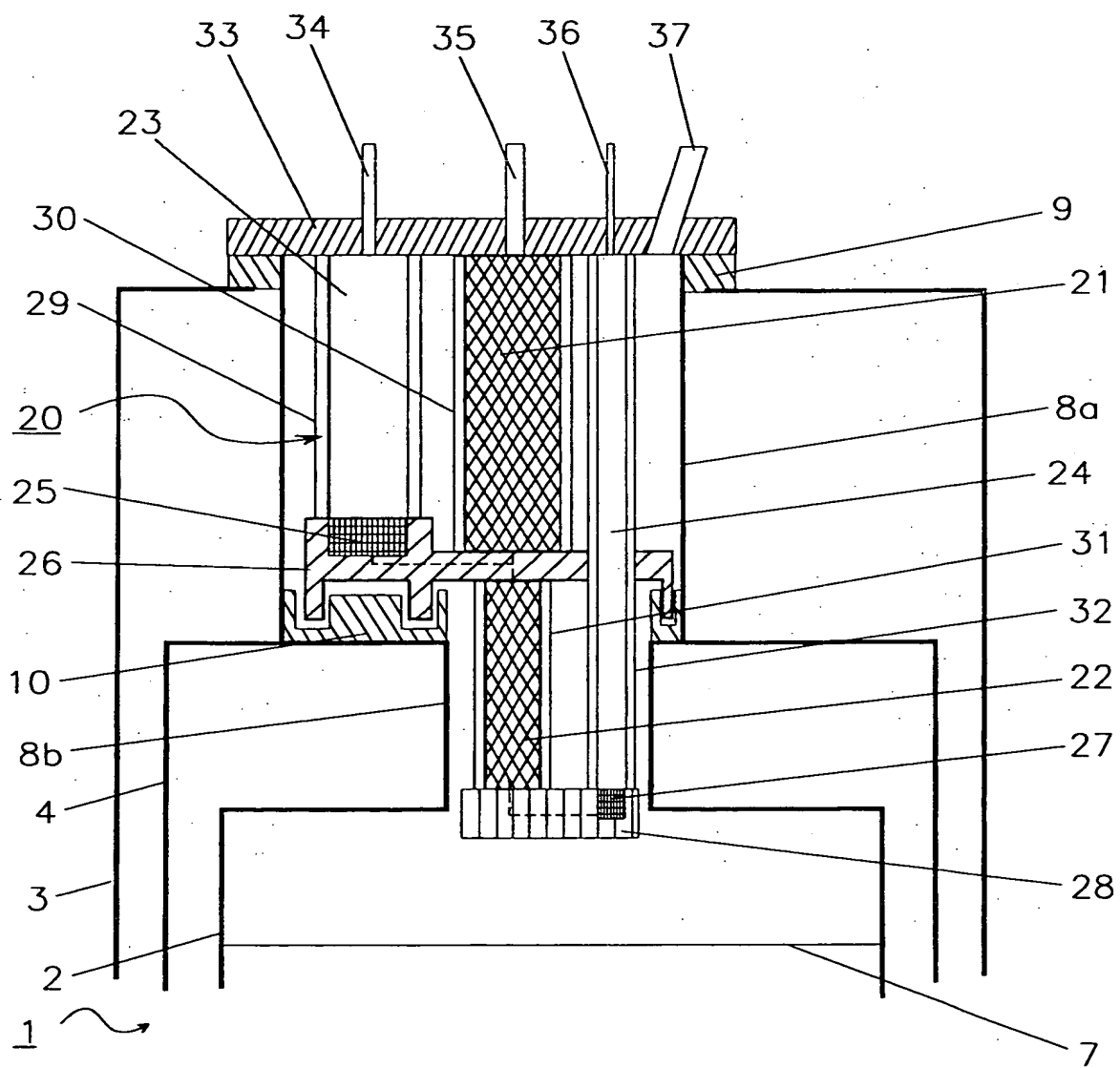


Fig. 1

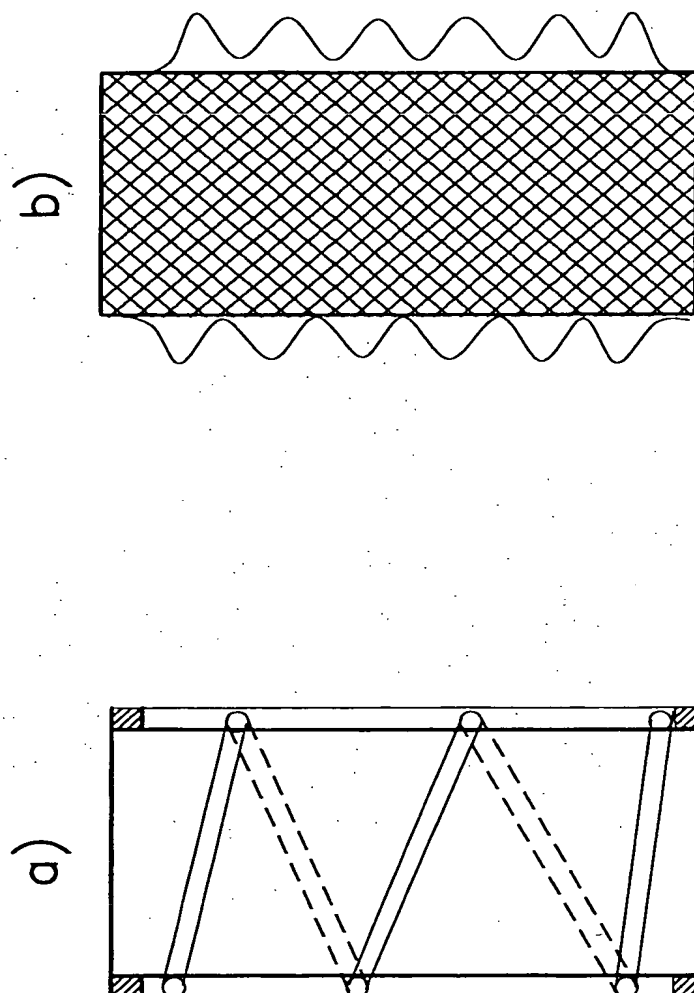


Fig. 2

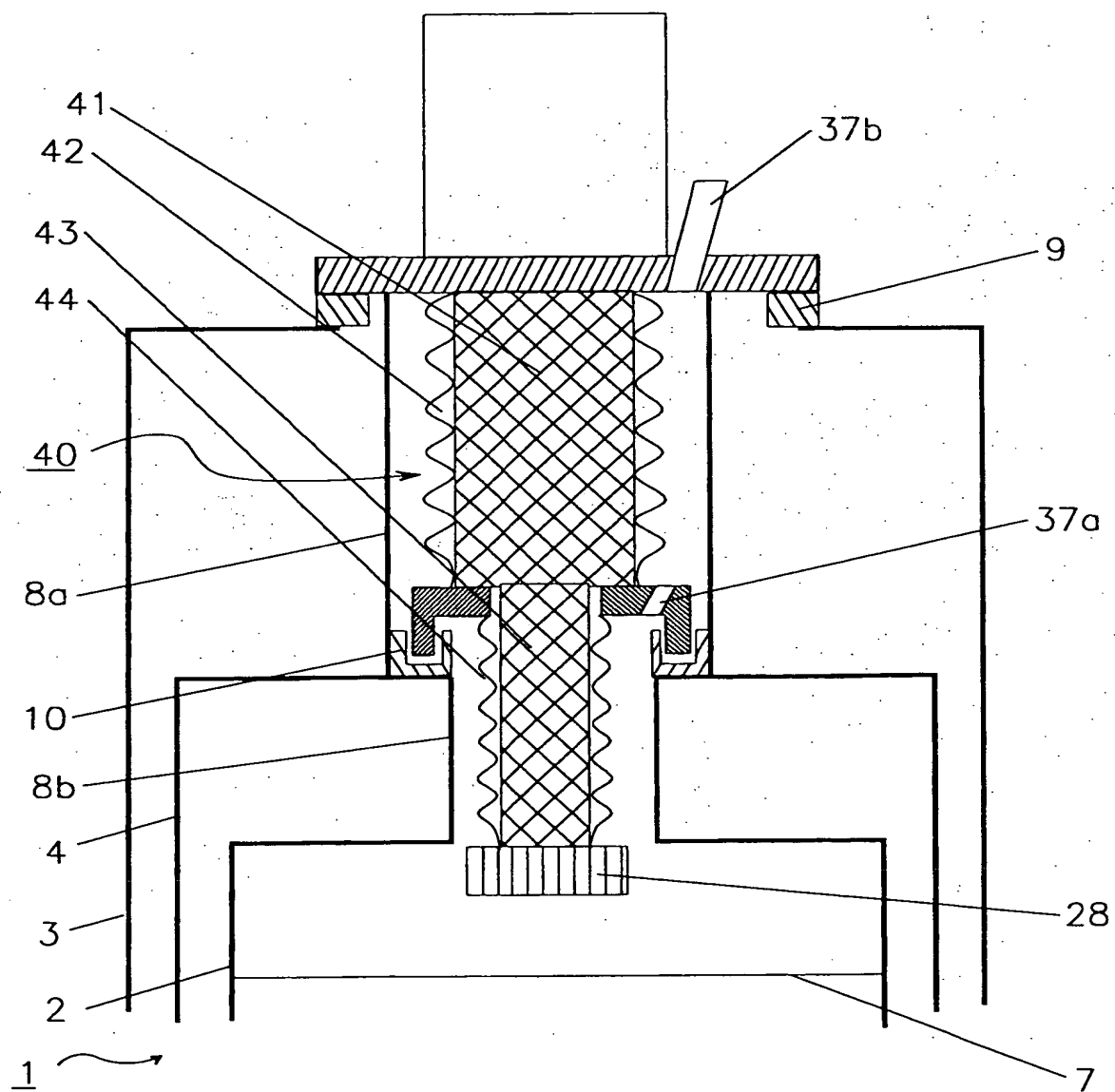


Fig. 3

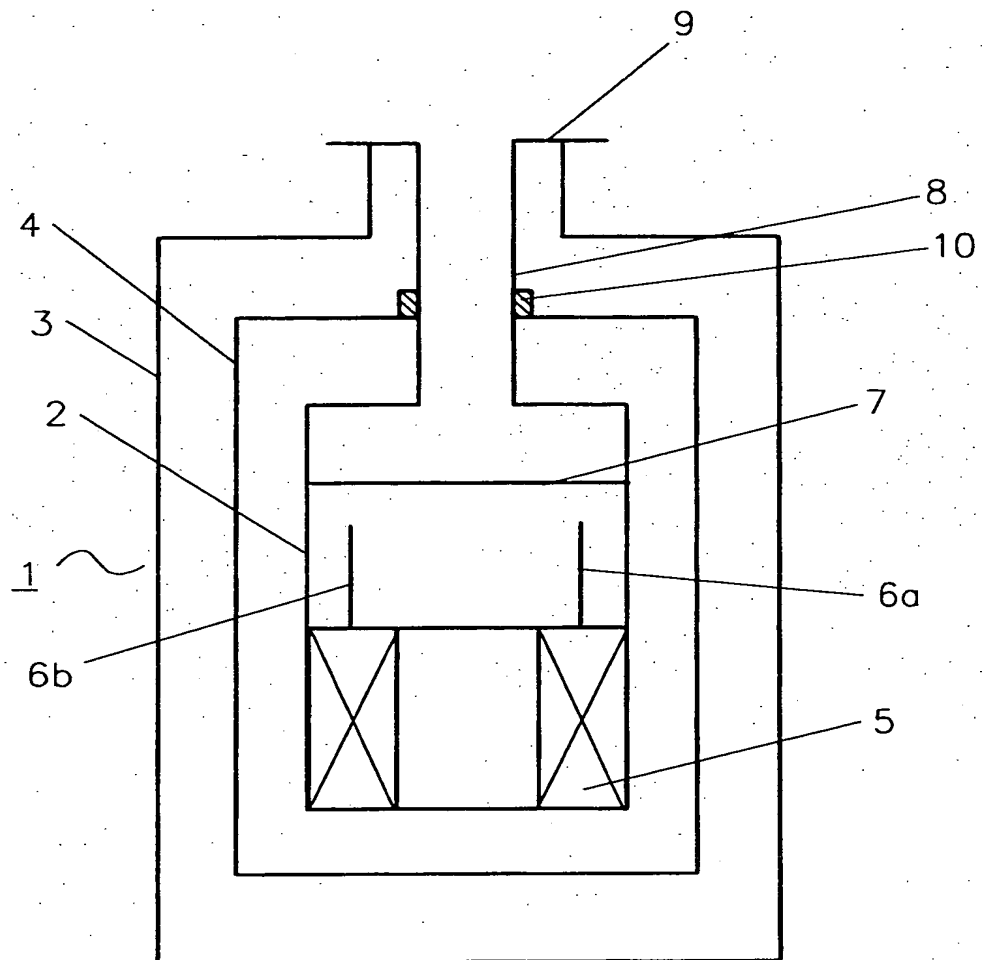


Fig. 4